

EVALUASI KARAKTERISTIK *SEALING* DAN KEKUATAN MEKANIS DRAT *NPT* DAN *NON-NPT* MENGGUNAKAN PENDEKATAN ANALISIS TEGANGAN

Rusman Fernando Manurung^{*1}, Ifti Luthviana Dewi^{*} and Yusuf Nurhuda^{*}

^{*} Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail:rusmanmanurungtbjs12@gmail.com

Abstrak

Sambungan drat merupakan salah satu komponen penting pada sistem perpipaan dan koneksi industri yang berfungsi untuk menjaga kekuatan mekanis serta mencegah terjadinya kebocoran fluida. Jenis drat yang umum digunakan adalah *National Pipe Taper (NPT)* dan *Non-NPT* yang memiliki perbedaan pada bentuk geometri dan mekanisme kontak antarpermukaan ulir. Perbedaan karakteristik tersebut dapat memengaruhi distribusi tegangan, deformasi, dan kemampuan sealing pada sambungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik sealing dan kekuatan mekanis drat *NPT* dan *Non-NPT* menggunakan pendekatan analisis tegangan. Metode yang digunakan adalah *Finite Element Analysis (FEA)* dengan bantuan perangkat lunak *SolidWorks Simulation* untuk mensimulasikan pembebanan tekanan pada sambungan drat. Simulasi dilakukan dengan variasi tekanan sebesar 1 MPa, 3 MPa, dan 5 MPa. Model geometri *NPT* dan *Non-NPT* dibuat dengan kondisi kontak antarpermukaan ulir, kemudian dianalisis berdasarkan distribusi tegangan *Von Mises*, *displacement*, *strain*, *factor of safety*, serta *contact pressure* sebagai parameter karakteristik *sealing*. Hasil analisis menunjukkan bahwa drat *NPT* memiliki kemampuan sealing yang lebih baik karena menghasilkan nilai *contact pressure* yang lebih tinggi dibandingkan *Non-NPT* pada setiap variasi tekanan. Namun, dari sisi kekuatan mekanis, *Non-NPT* menunjukkan performa struktur yang lebih baik dengan nilai tegangan *Von Mises* dan *displacement* yang lebih rendah serta *factor of safety* yang lebih tinggi. Dengan demikian, pemilihan jenis drat bergantung pada kebutuhan aplikasi, di mana *NPT* lebih unggul dalam aspek penyegelan, sedangkan *Non-NPT* lebih unggul dalam ketahanan mekanis.

Kata Kunci: *National Pipe Taper (NPT)*, *Non-NPT*, *Finite Element Analysis (FEA)*, *Sealing*, *Tegangan Von Mises*.

Abstract

Threaded connections are a crucial component in piping systems and industrial connections, serving to maintain mechanical strength and prevent fluid leaks. Commonly used thread types are National Pipe Taper (NPT) and Non-NPT, differing in their geometry and contact mechanism between threaded surfaces. These differences in characteristics can affect Stress distribution, Deformation, and Sealing performance of the connection. This study aims to evaluate the Sealing characteristics and Mechanical strength of NPT and Non-NPT threads using a stress Analysis approach. The method used is Finite Element Analysis (FEA) with the aid of Solidworks Simulation software to simulate pressure loading on the threaded connection. NPT and Non-NPT geometric models were created with contact conditions between threaded surfaces, then analyzed based on Von Mises Stress distribution, Displacement, strain, Factor of Safety, and Contact Pressure as Sealing characteristics. The Analysis Results indicate that NPT threads have better Sealing performance because they produce Higher Contact Pressure values than Non-NPT threads. However, in

terms of Mechanical strength, Non-NPT threads demonstrate better structural performance with lower Von Mises Stress and Deformation values, as well as a Higher Factor of Safety. Therefore, the choice of thread type depends on the application requirements, with NPT threads superior in Sealing, while Non-NPT threads are superior in Mechanical strength.

Keywords: *NPT threads, Non-NPT, Sealing, Mechanical strength, Von Mises Stress, Finite Element Analysis*

1 Pendahuluan

Sambungan berulir *threaded connection* merupakan salah satu komponen penting dalam sistem perpipaan yang banyak digunakan pada industri minyak dan gas, manufaktur, serta sistem fluida bertekanan. Sambungan ini berfungsi sebagai penghubung antar komponen sekaligus menjaga integritas sistem terhadap kebocoran fluida. Dalam praktiknya, terdapat berbagai jenis ulir yang digunakan, di antaranya *National Pipe Taper (NPT)* dan ulir *Non-NPT (parallel thread)*. Perbedaan mendasar antara kedua jenis ulir ini terletak pada mekanisme *Sealing*, di mana ulir *NPT* dirancang untuk menghasilkan kedekatan melalui kontak ulir (*pressure-tight joint*), sedangkan ulir *Non-NPT* tidak dirancang untuk *Sealing* pada ulir dan memerlukan elemen tambahan seperti gasket atau permukaan kontak eksternal [1].

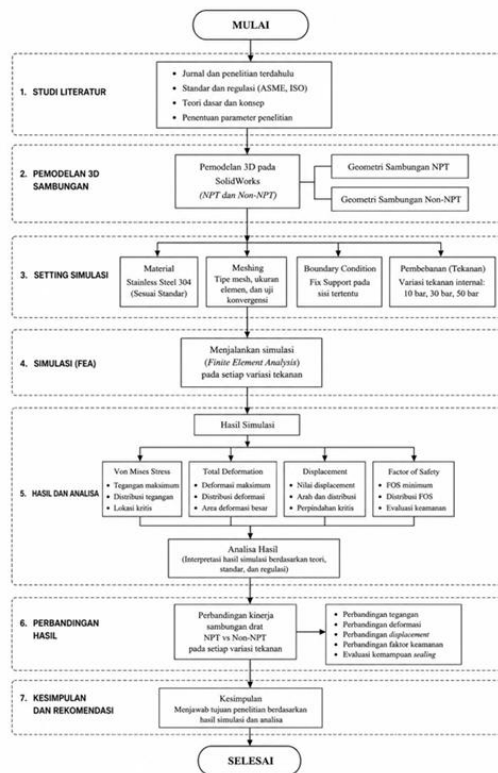
Namun demikian, sambungan berulir sering menjadi titik kritis dalam sistem perpipaan karena rentan terhadap kegagalan mekanis maupun kebocoran. Penelitian yang dilakukan oleh Hangming Liu dkk. menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada sambungan ulir tidak merata, dengan konsentrasi tegangan tertinggi terjadi pada akar ulir terakhir yang terlibat dalam kontak [2]. Kondisi ini dapat menyebabkan deformasi plastis dan kegagalan dini, terutama pada beban kombinasi seperti tekanan *internal*, torsi, dan gaya aksial. Selain aspek kekuatan mekanis, performa *Sealing* juga menjadi faktor krusial dalam menentukan keandalan sambungan ulir. Penelitian oleh Xiaofeng Cheng dan Yongjun Hou menunjukkan bahwa *Parameter* geometrik ulir seperti *pitch*, *Taper*, dan sudut *Flank* memiliki pengaruh signifikan terhadap distribusi tegangan dan kemampuan *Sealing* [3]. Deviasi kecil pada *Parameter* tersebut dapat menyebabkan penurunan performa *Sealing* dan meningkatkan potensi kebocoran. Lebih lanjut, penelitian oleh Tianle Zhang dkk. mengungkapkan bahwa kondisi operasi seperti temperatur dan tekanan tinggi dapat mempercepat degradasi *Sealing* serta meningkatkan laju kebocoran secara signifikan [4].

Dalam konteks regulasi, standar internasional seperti *ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section* menekankan bahwa desain komponen bertekanan harus mempertimbangkan kondisi operasi seperti tekanan dan temperatur untuk menjamin keselamatan dan integritas struktur [5]. Selain itu, standar ASME PCC-1 mengatur prosedur perakitan sambungan tekanan, termasuk faktor-faktor yang mempengaruhi kedekatan seperti gaya pengencangan, kondisi permukaan kontak, dan metode pemasangan [6]. Di sisi lain, standar ISO 228-1:2000 secara eksplisit menyatakan bahwa ulir *paralel (Non-NPT)* tidak dirancang untuk menghasilkan *Sealing* pada ulir, sehingga memerlukan mekanisme tambahan untuk mencapai kedekatan [1].

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan terkait analisis tegangan dan performa *Sealing* pada sambungan ulir, masih terdapat beberapa keterbatasan yang menjadi *research gap*. Pertama, sebagian besar penelitian hanya berfokus pada salah satu aspek, yaitu kekuatan mekanis atau performa *Sealing*, tanpa mengkaji keterkaitan keduanya secara simultan. Kedua, penelitian yang secara langsung membandingkan karakteristik antara ulir *NPT* dan *Non-NPT* masih sangat terbatas, terutama dalam konteks analisis tegangan. Ketiga, belum banyak penelitian yang mengaitkan hasil analisis mekanis dengan standar internasional seperti ASME dan ISO sebagai acuan evaluasi kinerja sambungan. Keempat, pengaruh perbedaan mekanisme *Sealing* antara ulir *Taper* dan *parallel* terhadap distribusi tegangan dan potensi kebocoran belum dikaji secara komprehensif dalam satu pendekatan terpadu. Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik *Sealing* dan kekuatan mekanis drat *NPT* dan *Non-NPT* menggunakan pendekatan analisis tegangan. Dengan mengintegrasikan aspek geometri ulir, distribusi tegangan, serta prinsip *Sealing* yang mengacu pada standar ASME dan ISO, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif serta kontribusi dalam pengembangan desain sambungan ulir yang lebih optimal, aman, dan andal.

2 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode simulasi numerik menggunakan software *Solidworks Simulation* dengan pendekatan *Finite Element Analysis (FEA)*. Penelitian dilakukan untuk menganalisis karakteristik *Sealing* dan kekuatan mekanis sambungan drat *NPT* dan *Non-NPT* pada sistem koneksi industri berdasarkan distribusi tegangan, deformasi, *Displacement*, dan faktor keamanan. Data hasil penelitian diperoleh melalui proses simulasi numerik terhadap model sambungan drat yang diberikan pembebanan dan tekanan tertentu sesuai kondisi operasional. Tahap awal penelitian dimulai dengan studi literatur mengenai sambungan drat *NPT* dan *Non-NPT*, karakteristik *Sealing*, kekuatan mekanis sambungan ulir, serta standar dan regulasi yang digunakan, yaitu ASME B1.20.1 untuk drat *NPT* dan ISO 7-1 serta ISO 228-1 untuk drat *parallel thread* atau *Non-NPT* [1], [7]. Studi literatur juga dilakukan terhadap penelitian terdahulu yang berkaitan dengan analisis sambungan ulir menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)*. Setelah studi literatur dilakukan, tahap berikutnya adalah perancangan model geometri sambungan drat menggunakan software *Solidworks*. Model geometri dibuat berdasarkan standar dimensi ulir yang berlaku. Sambungan drat *NPT* dibuat dengan bentuk ulir tirus (*Tapered thread*) sesuai standar ASME B1.20.1, sedangkan sambungan drat *Non-NPT* dibuat dengan bentuk ulir lurus (*parallel thread*) berdasarkan standar ISO 228-1. Parameter geometri yang digunakan meliputi diameter *mayor*, diameter *minor*, *pitch* ulir, sudut ulir 60°, panjang ulir, dan *Taper* ulir untuk sambungan *NPT* sebesar 1:16. Ukuran spesimen yang digunakan dalam penelitian mengacu pada ukuran standar sambungan pipa 1/2 inch dengan spesifikasi sebagai berikut



Gambar 1:Flowchart penelitian

Tabel 1
Ketentuan Ukuran Drat NPT dan Non NPT Berdasarkan Regulasi

Jenis Thread	Spesifikasi Drat NPT (National Pipe Thread)	Spesifikasi Drat Non-NPT / Metric Thread
Regulasi	Standar : ASME B1.20.1	Standar : ISO Metric Thread / ISO 261 dan ISO 965
Jenis ulir	Tapered Thread	Parallel Thread
Ukuran nominal	1/2 inch	M20 × 1.5
Tipe Ulir		
Diameter mayor	± 21,3 mm	20 mm
Diameter minor	± 18,6 mm	± 18,16 mm
Pitch ulir	1,814 mm	1,5 mm
Jumlah ulir	14 TPI (Threads Per Inch)	-
Sudut ulir	60°	60°
Panjang ulir efektif	± 14 mm	± 14 mm
Taper ulir	01:16	Tidak ada (parallel/lurus)

Model sambungan terdiri dari dua komponen utama yaitu drat luar (*male thread*) dan drat dalam (*female thread*). Pada sambungan *Non-NPT* digunakan tambahan *Sealing* sederhana berupa gasket atau *seal tape* sebagai representasi kondisi aktual penggunaan *parallel thread*. *Material* yang digunakan pada simulasi merupakan *Material* standar industri yang tersedia pada library *Solidworks Simulation*, yaitu Stainless Steel 304. *Material* tersebut dipilih karena memiliki kekuatan mekanis dan ketahanan korosi yang baik serta umum digunakan pada sistem perpipaan dan koneksi industri. Sifat mekanis *Material* yang digunakan meliputi

Tabel 2
Sifat Mekanik Material

Stainless Steel 304	
<i>Yield Strength</i>	± 215 MPa
<i>TENSILE STRENGTH</i>	± 505 MPa
Elastic Modulus	193 GPa
Poisson Ratio	0,29

Tahap selanjutnya adalah proses *Meshing* pada model geometri. *Meshing* dilakukan untuk membagi model menjadi elemen-elemen kecil sehingga proses perhitungan numerik dapat dilakukan oleh *software Solidworks Simulation*. Jenis *Mesh* yang digunakan adalah standard *solid Mesh* dengan ukuran elemen yang disesuaikan agar hasil simulasi lebih akurat, terutama pada area ulir yang mengalami kontak langsung dan konsentrasi tegangan tinggi. Pemberian kondisi batas (*Boundary Condition*) dilakukan dengan menahan salah satu sisi sambungan sebagai *Fixed Geometry*, sedangkan sisi lainnya diberikan pembebanan berupa tekanan *internal* dan gaya pengencangan (*preload*). Tekanan *internal* diberikan sebagai simulasi *fluida* bertekanan pada sistem perpipaan dengan variasi tekanan sebesar 1 mPa udara, 3 mPa udara, dan 5 mPa udara. Selain itu, diberikan *preload torque* pada sambungan ulir untuk mensimulasikan kondisi pengencangan aktual pada sambungan drat. Variasi tekanan 1 mPa, 3 mPa, dan 5 mPa dipilih untuk merepresentasikan kondisi operasi tekanan rendah, menengah, dan tinggi yang umum dijumpai pada sistem perpipaan industri. Pemilihan variasi tekanan ini digunakan sebagai skenario pembebanan untuk mengevaluasi pengaruh peningkatan tekanan *internal* terhadap distribusi tegangan, deformasi, *Displacement*, dan faktor keamanan sambungan drat. Meskipun ASME BPVC Section VIII tidak menetapkan nilai tekanan tertentu yang harus digunakan dalam simulasi, standar tersebut mensyaratkan bahwa komponen bertekanan harus mampu menahan tekanan desain (*design pressure*) yang ditentukan dalam kondisi operasi. Oleh karena itu, variasi tekanan yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan respons mekanis sambungan pada berbagai tingkat tekanan kerja. Menurut *ASME BPVC Section VIII Division 1 pada UG-21 (Design Pressure)*, setiap komponen yang bekerja pada kondisi bertekanan harus dirancang berdasarkan tekanan dan temperatur operasi paling berat yang diperkirakan terjadi selama kondisi operasi normal. Ketentuan ini menegaskan bahwa analisis kekuatan suatu komponen tidak didasarkan pada nilai tekanan tertentu yang ditetapkan oleh standar, melainkan pada tekanan desain (*design pressure*) yang ditentukan sesuai kebutuhan dan kondisi operasional sistem. Oleh karena itu, variasi tekanan 1 mPa, 3 mPa, dan 5 mPa dalam penelitian ini digunakan sebagai representasi kondisi tekanan rendah, menengah, dan tinggi untuk mengevaluasi respons mekanis sambungan drat terhadap peningkatan tekanan *internal*. [5] Selain itu, *ASME BPVC Section VIII Division 1 pada UG-22 (Loadings)* menjelaskan bahwa dalam proses desain dan analisis komponen bertekanan, seluruh beban yang bekerja harus dipertimbangkan, termasuk beban akibat tekanan *internal* maupun tekanan eksternal. Ketentuan tersebut menjadi dasar penggunaan variasi tekanan dalam simulasi *Finite Element Analysis (FEA)*, karena peningkatan tekanan *internal* akan memengaruhi distribusi tegangan, deformasi, *Displacement*, dan faktor keamanan pada sambungan drat. Dengan demikian, analisis pada tekanan 1 mPa, 3 mPa, dan 5 mPa dilakukan untuk mengamati perubahan perilaku mekanis sambungan *NPT* dan *Non-NPT* sesuai prinsip evaluasi beban yang diatur dalam *ASME BPVC Section VIII Division 1*. [5]. yang berisi “*UG-21 DESIGN PRESSURE* Each Element of a pressure vessel shall be designed for at least the most severe condition of coincident pressure (including coincident static head in the operating position) and temperature expected in normal operation. For this condition, the Maximum difference in pressure between the inside and outside of a vessel, or between any two chambers of a combination unit, shall be considered [see UG-98 and 3-2].

See also U-2(a).

Parameter-Parameter yang diuji dalam penelitian ini meliputi:

1. Distribusi tegangan *Von Mises* (*Von Mises Stress*)
2. Perubahan bentuk (*Displacement*)
3. Regangan ekuivalen (*Equivalent Strain*)
4. Faktor keamanan (*Factor of Safety*)

Data hasil penelitian diperoleh dari output simulasi *Solidworks Simulation* berupa visualisasi distribusi tegangan, deformasi, *Displacement*, dan faktor keamanan pada sambungan drat *NPT* dan *Non-NPT*. Hasil simulasi kemudian dianalisis dan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh bentuk ulir terhadap karakteristik *Sealing* dan kekuatan mekanis sambungan. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat komputer/laptop dengan spesifikasi minimum:

1. *Processor* Intel Core i5 / AMD Ryzen 5
2. RAM minimal 8 GB
3. VGA minimal 2 GB
4. *Software Solidworks 2024 dan Solidworks Simulation*

Penelitian dilakukan di laboratorium komputer atau perangkat pribadi peneliti yang digunakan untuk proses perancangan model dan simulasi numerik menggunakan *software Solidworks Simulation*. Hasil akhir penelitian diperoleh melalui perbandingan data simulasi antara sambungan drat *NPT* dan *Non-NPT* berdasarkan nilai tegangan maksimum, deformasi, *Displacement*, faktor keamanan, dan karakteristik *Sealing* sehingga dapat diketahui jenis sambungan yang memiliki performa lebih baik sesuai standar dan regulasi teknik yang digunakan

3. Analisa Data dan Pembahasan

Gambaran Umum Analisis Simulasi

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik *Sealing* dan kekuatan mekanis pada sambungan drat *NPT* (National Pipe Taper) dan *Non-NPT* akibat pemberian beban tekanan menggunakan metode *Finite Element Method (FEM)* dengan bantuan perangkat lunak *Solidworks Simulation*. Analisis dilakukan menggunakan metode *Static Structural Analysis* untuk mengetahui respons mekanis komponen ketika menerima pembebanan statis berupa tekanan yang diberikan secara bertahap hingga mencapai kondisi pembebanan tertentu. Pada simulasi ini, model sambungan drat *NPT* dan *Non-NPT* dibuat berdasarkan geometri masing-masing desain dengan mempertimbangkan kondisi kontak antar permukaan ulir. *Parameter* yang dimasukkan meliputi sifat *Material*, kondisi batas (*Boundary Condition*), pembebanan tekanan, interaksi kontak antar komponen, serta proses diskritisasi model menggunakan *Mesh*. Penggunaan *contact interaction* bertujuan untuk mengetahui distribusi tekanan kontak pada area ulir sebagai *Parameter* evaluasi kemampuan *Sealing*. Hasil simulasi dianalisis berdasarkan beberapa *Parameter* utama, yaitu:

1. Distribusi tegangan *Von Mises (Von Mises Stress)* untuk mengetahui tingkat tegangan yang terjadi pada komponen akibat pembebanan.
2. Perubahan bentuk (*Displacement*) untuk mengetahui deformasi yang terjadi selama menerima tekanan.
3. Regangan ekuivalen (*Equivalent Strain*) untuk mengetahui perubahan bentuk *Material* akibat pembebanan.
4. Faktor keamanan (*Factor of Safety*) untuk mengevaluasi kemampuan komponen terhadap kemungkinan kegagalan struktur.
5. *Contact Pressure* untuk mengevaluasi karakteristik *Sealing* berdasarkan distribusi tekanan kontak antar permukaan ulir.

Parameter tersebut digunakan untuk membandingkan performa drat *NPT* dan *Non-NPT* dalam mempertahankan kekuatan mekanis serta kemampuan penyegelan terhadap tekanan *internal*.

Analisa Kondisi *Material*

Material yang digunakan pada simulasi adalah AISI 304 *Stainless Steel*. *Material* ini banyak digunakan pada komponen yang mengalami tekanan karena memiliki ketahanan korosi, kekuatan mekanik yang baik, serta sifat ulet.

Berdasarkan data *Material* pada *Solidworks*, AISI 304 mempunyai:

Tabel 3
Data *Material* AISI 304

AISI 305 N/m2	
<i>MECHANICAL PROPERTIES</i>	<i>MODULUS ELASTISITAS</i>
<i>MODULUS ELASTISITAS</i>	1,9 X 10 ¹¹ N/m ²
<i>YIELD STRENGTH</i>	2,068 X 10 ⁸ N/m ²
<i>TENSILE STRENGTH</i>	5,17 X 10 ⁸ N/m ²
<i>POISON RATIO</i>	0,29

Nilai *MODULUS ELASTISITAS* menunjukkan kemampuan *Material* dalam mempertahankan bentuk ketika diberi beban. Semakin besar nilai *MODULUS ELASTISITAS* maka semakin kecil deformasi elastis yang terjadi. Pada penelitian ini digunakan kriteria kegagalan *Von Mises Stress* karena AISI 304 termasuk *Material ductile*. Kegagalan akan terjadi apabila tegangan ekuivalen yang terjadi melebihi tegangan luluh *Material*. Secara teoritis:

$$\sigma_{vm} < \sigma_y \quad (1)$$

maka *Material* masih berada dalam daerah elastis.

Sedangkan:

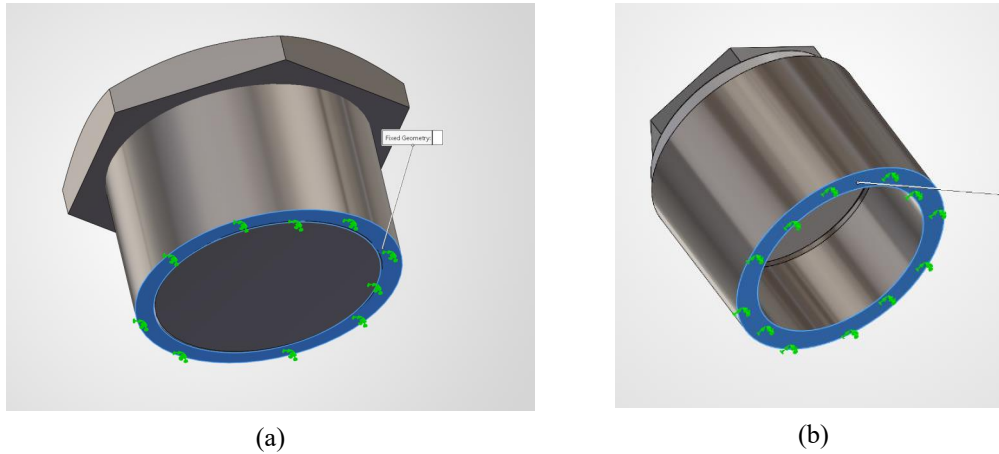
$$\sigma_{vm} > \sigma_y \quad (2)$$

menunjukkan *Material* mulai mengalami deformasi permanen.

Analisa Boundary Condition (Fixed Geometry)

Pada proses simulasi *Finite Element Analysis (FEA)*, penentuan kondisi batas (*Boundary Condition*) merupakan tahap penting untuk merepresentasikan kondisi kerja aktual dari sambungan drat *NPT* dan *Non-NPT*. Pada penelitian ini, kondisi batas yang digunakan adalah *Fixed Geometry*, yaitu memberikan batasan perpindahan pada bagian tertentu dari komponen sehingga area tersebut dianggap dalam kondisi tertahan atau terkunci selama proses analisis berlangsung. Penerapan kondisi *Fixed Geometry* bertujuan untuk mensimulasikan kondisi pemasangan sambungan drat saat salah satu bagian mengalami penahanan akibat koneksi dengan komponen lain. Pada model simulasi, bagian yang dipilih sebagai area penahan diberikan pembatasan terhadap seluruh arah perpindahan (translasi dan rotasi), sehingga bagian tersebut tidak mengalami deformasi akibat pergerakan bebas. Sementara itu, permukaan ulir diberikan pembebanan berupa tekanan *internal* dengan mempertimbangkan adanya interaksi kontak antar permukaan drat. Kondisi ini digunakan untuk memperoleh distribusi tegangan, deformasi, serta tekanan kontak yang mendekati kondisi operasional sebenarnya. Pemilihan *Boundary Condition* yang tepat berpengaruh terhadap hasil analisis, karena kesalahan dalam menentukan area *Fixed Geometry* dapat menyebabkan distribusi tegangan yang tidak sesuai dengan kondisi kerja komponen. Dengan adanya batasan tersebut, respons mekanis yang terjadi pada sambungan dapat dievaluasi berdasarkan nilai *Von Mises Stress*, *Displacement*, *Equivalent Strain*, *Factor of Safety*, serta *Contact Pressure* sebagai *Parameter* dalam menentukan kekuatan mekanis

dan karakteristik *Sealing* dari desain drat *NPT* dan *Non-NPT*.



Gambar 2: (a) *Fixed Geometry* pada ulir *NON-NPT* dan (b) *Fixed Geometry* pada ulir *NPT*

Analisa Pembebanan Tekanan

Beban yang diberikan berupa tekanan *internal* dengan variasi:

1. 1 MPa
2. 3 MPa
3. 5 MPa

Tekanan diberikan tegak lurus terhadap permukaan bagian dalam komponen. Pemilihan variasi tekanan bertujuan untuk melihat perubahan respons struktur ketika mengalami peningkatan beban. Hubungan dasar tekanan dengan gaya:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Keterangan;

P = tekanan (MPa)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (mm²)

Semakin besar tekanan yang diberikan, maka gaya yang diterima permukaan juga semakin besar sehingga menyebabkan peningkatan tegangan.

Tabel 4
Parameter Ukuran Tekanan

NAMA MODEL	TEKANAN (MPa)	TEKANAN (Bar)
<i>NPT</i>	1 MPa	1 MPa
<i>NPT</i>	3 MPa	3 MPa
<i>NPT</i>	5 MPa	5 MPa
NON-NPT	1MPa	1 MPa
NON-NPT	3 MPa	3 MPa
NON-NPT	5 MPa	5 MPa

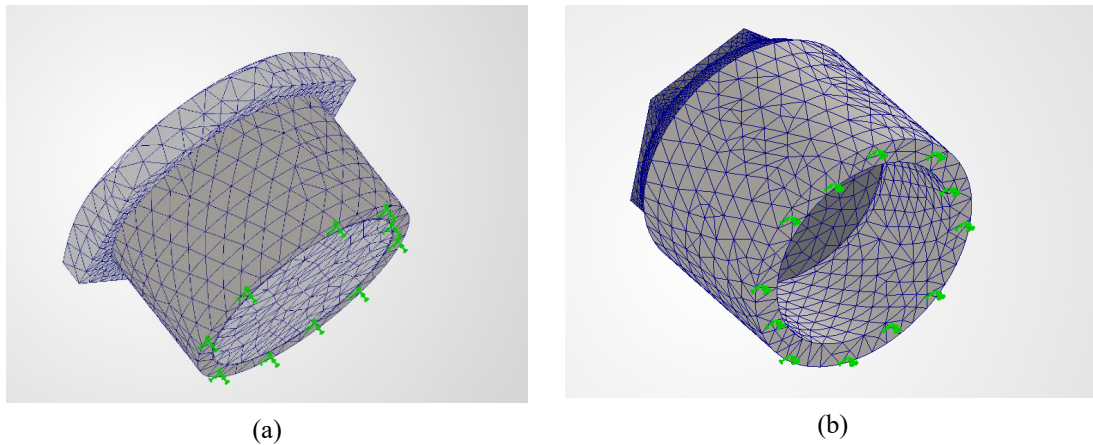
Analisa Kualitas Mesh

Berdasarkan hasil *Meshing*, kedua model sambungan drat memiliki kualitas *Mesh High Quality*, sehingga model numerik dapat digunakan untuk proses analisis. Drat *NPT* memiliki jumlah *Node* dan elemen lebih besar dibandingkan *Non-NPT* (Non-NPT), yaitu 147.310 *Node* dan 95.857 elemen. Hal ini menunjukkan bahwa geometri ulir *NPT* membutuhkan diskritisasi yang lebih detail karena bentuk ulir dan area kontak yang lebih kompleks.

Tabel 5
Mesh informasi drat Non-NPT dan NPT

PARAMETER	NON-NPT	NPT
Mesh type	Solid Mesh	
Mesher used:	Curvature-based mesh	
Jacobian points for high quality mesh	16 Points	
Maximum element size	5,95981 mm	0,212155 in
Minimum element size	1,53073 mm	0,0212155 in
Mesh quality	High	
Remesh failed parts independently	Off	
Reuse mesh for identical parts in an assembly (blended curvature-based mesher only)	Off	
MESH DETAIL		
Total nodes	50937	147310
Total elements	31286	95857
Maximum aspect ratio	216,41	142,42
% Of elements with aspect ratio < 3	74	87,1
Percentage of elements with aspect ratio > 10	8,41	4,21
Percentage of distorted elements	0	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:03	00:00:04
Computer name:	ASUS ROG GSTRIX 18	

Pada *Non-NPT* diperoleh 50.937 *Node* dan 31.286 elemen. Walaupun jumlah elemen lebih rendah, kualitas *Mesh* tetap berada pada kategori tinggi dengan tidak ditemukan elemen terdistorsi. Nilai aspek rasio masih berada dalam batas yang dapat diterima sehingga distribusi tegangan, *Displacement*, dan *Contact Pressure* dapat dianalisis dengan baik. Dengan kualitas *Mesh* tersebut, hasil simulasi dapat digunakan untuk mengevaluasi perbandingan karakteristik *Sealing* dan kekuatan mekanis antara drat *NPT* dan *Non-NPT*.



Gambar 3: (a)Mesh pada drat *Non-NPT* dan (b)Mesh pada drat *NPT*

Analisa Tegangan *Von Mises*

Berdasarkan tabel tersebut, peningkatan tekanan menyebabkan kenaikan nilai tegangan *Von Mises* pada kedua jenis sambungan drat. Pada desain *Non-NPT* (Non-NPT), tegangan meningkat dari 32,121 MPa pada tekanan 1 MPa menjadi 375,233 MPa pada tekanan 5 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan, semakin besar gaya yang diterima oleh area ulir sehingga terjadi peningkatan konsentrasi tegangan. Pada desain *NPT*, nilai tegangan *Von Mises* lebih tinggi dibandingkan *Non-NPT* pada seluruh variasi tekanan. Pada tekanan 1 MPa tegangan mencapai 375,233 MPa, kemudian meningkat menjadi 1.080,376 MPa pada 3 MPa, dan mencapai 1.795,679 MPa pada tekanan 5 MPa. Tingginya tegangan pada *NPT* disebabkan oleh bentuk geometri ulir *Taper* yang menyebabkan distribusi beban lebih terkonsentrasi pada area kontak dan akar ulir.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan tekanan internal menyebabkan peningkatan nilai tegangan *Von Mises* pada ulir. Fenomena ini sejalan dengan penelitian Liu dkk. (2024) yang menyatakan bahwa konsentrasi tegangan pada akar ulir merupakan penyebab utama terjadinya kegagalan awal pada sambungan berulir, sehingga distribusi tegangan yang lebih merata akan meningkatkan kekuatan mekanis sambungan.[4]

Jika dibandingkan dengan *Material* AISI 304 yang memiliki *Yield Strength* sekitar 206,8 MPa, maka:

- Non-NPT 1 MPa dan 3 MPa masih berada di bawah batas luluh.
- Non-NPT 5 MPa dan seluruh variasi *NPT* telah melewati batas luluh, sehingga berpotensi mengalami deformasi plastis.

Tegangan *Von Mises* digunakan untuk mengetahui kondisi tegangan *ekuivalen* yang terjadi pada sambungan drat akibat pembebanan tekanan *internal*. Kriteria *Von Mises* menyatakan bahwa kegagalan *Material* akan terjadi apabila energi distorsi akibat tegangan yang bekerja melebihi batas luluh *Material*. Nilai tegangan *Von Mises* dibandingkan dengan *Yield Strength Material* AISI 304 untuk mengetahui keamanan struktur.

Persamaan tegangan *Von Mises* pada kondisi tiga dimensi dapat dituliskan sebagai:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (4)$$

Keterangan

σ_{vm} : Tegangan *Von Mises* / tegangan *ekuivalen* (MPa)

σ : Tegangan

Tabel 6
Hasil Analisa Tegangan *Von Mises* Drat *NPT* dan *Non-NPT*

Jenis Drat	Tekanan (MPa)	Tegangan <i>Von Mises</i> Maksimum (MPa)	Perbandingan terhadap <i>Yield Strength</i>	Lokasi Tegangan Kritis	Keterangan
<i>Non-NPT</i> (Non-NPT)	1 MPa	32,121	32,121 < 206,8 (Aman)	Akar ulir/kontak ulir	Tegangan masih rendah dan distribusi beban relatif merata
<i>Non-NPT</i> (Non-NPT)	3 MPa	88,791	88,791 < 206,8 (Aman)		Terjadi peningkatan tegangan akibat kenaikan tekanan
<i>Non-NPT</i> (Non-NPT)	5 MPa	375,233	375,233 > 206,8 (Melewati batas luluh)		Tegangan melewati <i>Yield Strength Material</i>
<i>NPT</i>	1 MPa	375,233	375,233 > 206,8 (Melewati batas luluh)		Terjadi konsentrasi tegangan akibat geometri <i>Taper</i>
<i>NPT</i>	3 MPa	1.080,376	1.080,376 > 206,8 (Melewati batas luluh)		Tegangan meningkat signifikan akibat tekanan
<i>NPT</i>	5 MPa	1.795,679	1.795,679 > 206,8 (Melewati batas luluh)		Tegangan sangat tinggi dan berpotensi mengalami kegagalan

Analisa *Contact Pressure*

Contact Pressure merupakan tekanan kontak yang terjadi pada area pertemuan antara permukaan ulir male dan female akibat adanya pembebanan. Pada sambungan drat, nilai *Contact Pressure* digunakan sebagai indikator kemampuan *Sealing* karena semakin besar tekanan kontak yang terjadi, maka semakin rapat kontak antar permukaan ulir sehingga potensi terjadinya kebocoran fluida dapat dikurangi. Pada analisis ini, *Contact Pressure* dihitung dari interaksi kontak antar permukaan ulir pada sambungan drat *NPT* dan *Non-NPT*. Distribusi tekanan kontak sangat dipengaruhi oleh bentuk geometri ulir, gaya yang diterima, serta deformasi *Material* akibat tekanan *internal*. Secara umum hubungan tekanan kontak dapat dinyatakan:

$$P_c = \frac{F_c}{A_c} \quad (5)$$

Keterangan

P_c : *Contact Pressure* (MPa)

F_c : Gaya kontak antar permukaan (N)

A_c : Luas area kontak (mm²)

Tabel 7
Hasil Analisa *Contact Pressure*

Jenis Drat	Tekanan (MPa)	<i>Contact Pressure</i> Maksimum (MPa)	Lokasi Tegangan Kritis	Keterangan
<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>	1 MPa	46,105	Akar ulir/kontak ulir	Kontak mulai terbentuk pada permukaan ulir
<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>	3 MPa	129,440		Tekanan kontak meningkat akibat kenaikan beban
<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>	5 MPa	182,642		Kontak antar ulir semakin rapat
<i>NPT</i>	1 MPa	420,785		Tekanan kontak lebih tinggi akibat geometri <i>Taper</i>
<i>NPT</i>	3 MPa	1.153,009		Terjadi peningkatan kontak yang signifikan
<i>NPT</i>	5 MPa	1.789,974		Tekanan kontak maksimum dan <i>Sealing</i> terbaik

Tabel 8
Perbandingan *Contact Pressure* Maksimum (5 MPa)

<i>Parameter</i>	<i>NPT</i>	<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>
<i>Contact Pressure</i>	1.789,974 MPa	182,642 MPa
Karakteristik	<i>Sealing</i> lebih kuat	Kontak lebih rendah

Berdasarkan hasil simulasi *Contact Pressure*, peningkatan tekanan *internal* menyebabkan peningkatan tekanan kontak pada kedua jenis sambungan drat. Pada desain *Non-NPT (Non-NPT)*, *Contact Pressure* meningkat dari 46,105 MPa pada 1 MPa menjadi 182,642 MPa pada 5 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa gaya tekan antar permukaan ulir semakin besar seiring bertambahnya beban. Pada desain *NPT*, nilai *Contact Pressure* lebih tinggi dibandingkan *Non-NPT* pada seluruh variasi tekanan. Pada tekanan 5 MPa, *NPT* menghasilkan *Contact Pressure* sebesar 1.789,974 MPa, sedangkan *Non-NPT* hanya 182,642 MPa. Hal ini disebabkan oleh bentuk ulir *NPT* yang memiliki geometri *Taper* sehingga menghasilkan efek penguncian dan kontak yang lebih kuat pada permukaan ulir. Dari sisi karakteristik *Sealing*, *NPT* memiliki performa lebih baik karena menghasilkan tekanan kontak yang jauh lebih tinggi sehingga mampu meningkatkan kemampuan menahan kebocoran fluida. Namun, *Contact Pressure* yang terlalu tinggi juga menyebabkan konsentrasi tegangan lebih besar pada area ulir, sehingga perlu dipertimbangkan terhadap aspek kekuatan mekanis.

Nilai *contact pressure* yang tinggi pada daerah kontak ulir menunjukkan kemampuan *sealing* yang lebih baik karena mampu mengurangi terbentuknya celah kebocoran. Cheng dan Hou (2024) menjelaskan bahwa kemampuan *sealing* dipengaruhi oleh distribusi tekanan kontak sepanjang permukaan kontak, di mana semakin besar tekanan kontak maka semakin baik kemampuan sambungan dalam menahan kebocoran

fluida[3]

Analisa Displacement

Berdasarkan tabel di atas, peningkatan tekanan menyebabkan nilai *Elements* meningkat pada kedua desain sambungan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar tekanan *internal* yang diberikan, maka gaya yang diterima oleh *Material* semakin besar sehingga terjadi peningkatan deformasi. Pada desain *Non-NPT* (Non-NPT), *Displacement* meningkat dari 0,003 mm pada tekanan 1 MPa menjadi 0,012 mm pada tekanan 5 MPa. Nilai perpindahan yang kecil menunjukkan bahwa distribusi beban pada geometri ulir lebih merata sehingga struktur lebih mampu mempertahankan bentuknya. Sedangkan pada desain *NPT*, *Displacement* meningkat dari 0,1224 mm pada 1 MPa menjadi 0,5977 mm pada 5 MPa. Nilai tersebut lebih besar dibandingkan *Non-NPT* karena bentuk ulir *Taper* pada *NPT* menyebabkan gaya tekan lebih terkonsentrasi pada area kontak ulir dan akar ulir sehingga menghasilkan deformasi yang lebih tinggi.

Dari aspek kekuatan mekanis, *Non-NPT* memiliki kekakuan struktur lebih baik karena menghasilkan *Displacement* lebih rendah. Namun deformasi pada *NPT* juga berperan terhadap peningkatan kontak antar ulir yang dapat mendukung karakteristik *Sealing*.

Tabel 9
Hasil Analisa Displacement (Resultant Displacement/URES)

Jenis Drat	Tekanan (MPa)	Resultant Displacement (mm)	Lokasi Deformasi Kritis	Keterangan
<i>Non-NPT</i> (Non-NPT)	1 MPa	0,003	Akar ulir/kontak ulir	Deformasi masih kecil pada tekanan rendah
<i>Non-NPT</i> (Non-NPT)	3 MPa	0,008		Terjadi peningkatan perpindahan akibat kenaikan beban
<i>Non-NPT</i> (Non-NPT)	5 MPa	0,012		Deformasi meningkat tetapi masih relatif kecil
<i>NPT</i>	1 MPa	0,1224		Deformasi lebih besar akibat konsentrasi beban
<i>NPT</i>	3 MPa	0,3604		Peningkatan <i>Displacement</i> akibat tekanan
<i>NPT</i>	5 MPa	0,5977		Perubahan bentuk paling besar

Analisa Strain

Berdasarkan tabel tersebut, peningkatan tekanan menyebabkan nilai *Equivalent Strain* meningkat pada sambungan drat *NPT*, sedangkan pada *Non-NPT* perubahan strain relatif lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan memberikan pengaruh langsung terhadap perubahan bentuk *Material*. Pada desain *Non-NPT* (Non-NPT), nilai strain meningkat dari 0 pada tekanan 1 MPa dan 3 MPa menjadi 0,001 pada tekanan 5 MPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi masih kecil sehingga struktur lebih mampu mempertahankan bentuk awalnya.

Sedangkan pada desain *NPT*, nilai strain meningkat dari 0,001 pada tekanan 1 MPa menjadi 0,007 pada

tekanan 5 MPa. Nilai strain yang lebih besar terjadi karena bentuk ulir *Taper NPT* menyebabkan distribusi beban lebih terkonsentrasi pada area akar ulir dan kontak antar permukaan. Berdasarkan hubungan tegangan dan regangan:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (6)$$

Keterangan

ϵ : Regangan (strain) atau perubahan bentuk relatif *Material*

σ : Tegangan yang bekerja pada *Material* MPa (N/mm²)

E : *Modulus Elastisitas Material* MPa (N/mm²)

kenaikan tegangan akibat peningkatan tekanan akan menyebabkan kenaikan regangan. Oleh karena itu, daerah dengan tegangan *Von Mises* tinggi juga menjadi lokasi terjadinya strain terbesar. Dari hasil analisis, *Non-NPT* memiliki kestabilan deformasi lebih baik, sedangkan *NPT* mengalami deformasi lebih besar namun menghasilkan kontak antar ulir yang lebih kuat sehingga mendukung karakteristik *Sealing*.

Tabel 10
Hasil Analisa Equivalent Strain

Jenis Drat	Tekanan (MPa)	Equivalent Strain	Lokasi Strain Kritis	Keterangan
<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>	1 MPa	0	Akar ulir/kontak ulir	Belum terjadi deformasi signifikan
<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>	3 MPa	0		Perubahan bentuk masih sangat kecil
<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>	5 MPa	0,001		Mulai terjadi deformasi akibat tekanan
<i>NPT</i>	1 MPa	0,001		Regangan mulai muncul akibat konsentrasi tegangan
<i>NPT</i>	3 MPa	0,004		Regangan meningkat akibat kenaikan tekanan
<i>NPT</i>	5 MPa	0,007		Regangan maksimum terjadi

Analisa Factor of Safety

Factor of Safety (FOS) merupakan *Parameter* yang digunakan untuk mengetahui tingkat keamanan suatu komponen terhadap pembebanan yang diberikan. Nilai FOS menunjukkan perbandingan antara kemampuan maksimum *Material* dalam menahan beban terhadap tegangan yang terjadi selama proses analisis.

Persamaan *Factor of Safety* dapat dituliskan sebagai:

$$FOS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{vm}} \quad (7)$$

Keterangan

FOS : Faktor keamanan (*Factor of Safety*)

σ_y : Tegangan luluh *Material (Yield Strength)* MPa (N/mm²)

σ_{vm} : Tegangan *Von Mises* yang terjadi pada komponen MPa (N/mm²)

Tabel 11
Hasil Analisa *Factor of Safety*

Jenis Drat	Tekanan (MPa)	<i>Von Mises</i> (MPa)	<i>Factor of Safety</i>	Kondisi
<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>	1 MPa	32,121	6,44	Aman
<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>	3 MPa	88,791	2,33	Aman
<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>	5 mPa	375,233	0,55	Tidak aman
<i>NPT</i>	1 MPa	375,233	0,55	Tidak aman
<i>NPT</i>	3 MPa	1.080,376	0,19	Tidak aman
<i>NPT</i>	5 MPa	1.795,679	0,11	Tidak aman

Berdasarkan hasil simulasi, nilai *Factor of Safety* mengalami penurunan seiring meningkatnya tekanan yang diberikan. Hal ini terjadi karena peningkatan tekanan menyebabkan tegangan *Von Mises* meningkat, sehingga rasio antara kekuatan *Material* terhadap tegangan kerja menjadi lebih kecil. Pada desain *Non-NPT (Non-NPT)*, nilai FOS pada tekanan 1 MPa sebesar 6,44 dan pada tekanan 3 MPa sebesar 2,33. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur masih berada dalam kondisi aman karena tegangan yang terjadi masih berada di bawah *Yield Strength Material*. Namun pada tekanan 5 MPa nilai FOS turun menjadi 0,55, yang menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi telah melewati batas luluh *Material*.

Pada desain *NPT*, nilai FOS lebih rendah dibandingkan *Non-NPT* pada seluruh variasi tekanan. Pada tekanan 1 MPa nilai FOS sebesar 0,55, kemudian turun menjadi 0,19 pada tekanan 3 MPa dan 0,11 pada tekanan 5 MPa. Rendahnya nilai FOS pada *NPT* disebabkan oleh konsentrasi tegangan yang tinggi pada daerah akar ulir akibat bentuk geometri *Taper*. Dari sisi kekuatan mekanis, hasil *Factor of Safety* menunjukkan bahwa *Non-NPT* memiliki ketahanan struktur yang lebih baik dibandingkan *NPT*. Namun, *NPT* memiliki keunggulan pada aspek *Sealing* karena menghasilkan kontak antar ulir yang lebih besar.

Evaluasi Keseluruhan Hasil Simulasi

Evaluasi keseluruhan dilakukan untuk membandingkan performa sambungan drat *NPT* dan *Non-NPT (Non-NPT)* berdasarkan aspek kekuatan mekanis dan karakteristik *Sealing*. Parameter yang digunakan meliputi tegangan *Von Mises*, *Displacement*, *Equivalent Strain*, *Factor of Safety*, serta *Contact Pressure*.

Tegangan *Von Mises* digunakan untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi akibat tekanan *internal*. *Displacement* dan strain digunakan untuk mengetahui perubahan bentuk akibat pembebanan, sedangkan *Factor of Safety* digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan struktur. *Contact Pressure* digunakan

sebagai indikator kemampuan *Sealing* karena menunjukkan tingkat kontak antar permukaan ulir.

Tabel 12
Evaluasi Keseluruhan Hasil Simulasi

<i>Parameter Evaluasi</i>	<i>NPT</i>	<i>Non-NPT (Non-NPT)</i>	Kesimpulan
<i>Von Mises Stress maksimum (MPa)</i>	1.795,679 MPa	375,233 MPa	<i>Non-NPT</i> lebih baik karena tegangan lebih rendah
<i>Displacement maksimum (mm)</i>	0,5977 mm	0,012 mm	<i>Non-NPT</i> lebih kaku dengan deformasi lebih kecil
<i>Equivalent Strain maksimum</i>	0,007	0,001	<i>Non-NPT</i> mengalami deformasi lebih kecil
<i>Factor of Safety (FOS)</i>	0,11	0,55	<i>Non-NPT</i> memiliki tingkat keamanan lebih tinggi
<i>Contact Pressure maksimum (MPa)</i>	1.789,974 MPa	182,642 MPa	<i>NPT</i> memiliki kemampuan <i>Sealing</i> lebih tinggi

Berdasarkan hasil simulasi, terdapat perbedaan karakteristik antara drat *NPT* dan *Non-NPT*. Pada *Parameter* kekuatan mekanis, *Non-NPT* menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan *NPT*. Hal ini terlihat dari nilai *Von Mises Stress* yang lebih rendah, yaitu 375,233 MPa dibandingkan *NPT* sebesar 1.795,679 MPa. Tegangan yang lebih rendah menunjukkan distribusi beban yang lebih merata sehingga mengurangi konsentrasi tegangan pada area kritis ulir. Dari *Parameter Displacement*, *Non-NPT* mengalami perpindahan maksimum sebesar 0,012 mm, sedangkan *NPT* mencapai 0,5977 mm. Hal ini menunjukkan bahwa *Non-NPT* memiliki kekakuan struktur lebih tinggi dan lebih mampu mempertahankan bentuk ketika menerima tekanan. Pada *Parameter Equivalent Strain*, *Non-NPT* menghasilkan nilai sebesar 0,001, sedangkan *NPT* sebesar 0,007. Nilai strain yang lebih kecil menunjukkan deformasi *Material* yang lebih rendah sehingga risiko perubahan bentuk permanen dapat diminimalkan.

Berdasarkan *Factor of Safety*, *Non-NPT* memiliki nilai FOS sebesar 0,55, sedangkan *NPT* sebesar 0,11. Hal ini menunjukkan bahwa *Non-NPT* lebih aman secara struktur dibandingkan *NPT* pada kondisi pembebanan yang sama. Namun, pada evaluasi karakteristik *Sealing*, *NPT* memiliki keunggulan karena menghasilkan *Contact Pressure* sebesar 1.789,974 MPa, jauh lebih tinggi dibandingkan *Non-NPT* sebesar 182,642 MPa. Tekanan kontak yang lebih tinggi menunjukkan kontak antar ulir lebih kuat sehingga kemampuan menahan kebocoran fluida menjadi lebih baik.

Kesimpulan

Berdasarkan seluruh *Parameter* hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan karakteristik performa antara drat *NPT* dan *Non-NPT (Non-NPT)*. Berdasarkan *Parameter Contact Pressure*, drat *NPT* memiliki keunggulan dalam karakteristik *Sealing* karena menghasilkan tekanan kontak yang lebih tinggi pada area antar ulir. Hal ini disebabkan oleh bentuk geometri ulir *NPT* yang memiliki profil *Taper* (meruncing), sehingga menghasilkan efek penguncian dan meningkatkan gaya kontak antar permukaan ulir. Kondisi tersebut menyebabkan sambungan menjadi lebih rapat dan berpotensi lebih baik dalam mencegah kebocoran fluida.

Namun, berdasarkan *Parameter* kekuatan mekanis, drat *Non-NPT (Non-NPT)* menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan *NPT*. Hal ini ditunjukkan dari nilai tegangan *Von Mises*, *Displacement*, dan *Equivalent Strain* yang lebih rendah. Nilai tegangan dan deformasi yang lebih kecil menunjukkan bahwa distribusi beban pada *Non-NPT* lebih merata sehingga komponen lebih mampu mempertahankan bentuknya ketika menerima tekanan *internal*. Selain itu, nilai *Factor of Safety* yang lebih tinggi pada *Non-NPT*

menunjukkan tingkat keamanan struktur yang lebih baik dibandingkan drat *NPT*.

Dengan demikian, pemilihan jenis sambungan drat perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasinya. Apabila tujuan utama penggunaan sambungan adalah untuk memperoleh kemampuan penyegelan yang tinggi dan meminimalkan risiko kebocoran fluida, maka drat *NPT* lebih sesuai digunakan. Sebaliknya, apabila faktor utama yang dipertimbangkan adalah ketahanan struktur, kestabilan deformasi, dan keamanan mekanis, maka drat *Non-NPT* (Non-NPT) menjadi pilihan yang lebih optimal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat satu desain yang unggul pada seluruh *Parameter* evaluasi. Drat *NPT* memiliki keunggulan pada aspek karakteristik *Sealing* akibat tingginya tekanan kontak antar ulir, sedangkan drat *Non-NPT* (Non-NPT) memiliki keunggulan pada aspek kekuatan mekanis karena mampu menghasilkan distribusi tegangan dan deformasi yang lebih rendah. Oleh karena itu, kedua desain memiliki kelebihan masing-masing

5 Daftar Pustaka

- [1] Pipe threads where pressure-tight joints are not made on the threads — Part 1: Dimensions, tolerances and designation, ISO 228-1:2000, Geneva., 2000.
- [2] H. Liu et al., “Design and mechanical properties analysis of drill pipe’s joint thread with unequal taper under complex loads,” *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, p. 30856, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-81691-6.
- [3] X. Cheng and Y. Hou, “Analysis of the Influence of Thread Parameter Deviation on The Sealing Performance of Drill Pipe Joint Under Axial Load,” *AJST*, vol. 10, no. 1, pp. 316–324, Mar. 2024, doi: 10.54097/289tqq74.
- [4] T. Zhang, L. Yang, F. Bai, and C. Zhu, “Gas-Tightness Evaluation of Threaded Connections for Deep Oil and Gas Wells at High Temperature,” *Energies*, vol. 18, no. 17, p. 4539, Aug. 2025, doi: 10.3390/en18174539.
- [5] Rules for Construction of Pressure Vessels Division 1, ASME BPVC.VIII.1-2019, New York., 2019.
- [6] Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly, ASME PCC-1-2022, New York., 2022.
- [7] American Society of Mechanical Engineers, ASME B1.20.1-2013: Pipe Threads, General Purpose (Inch), B1.20.1-2013, New York., 2013.